

(19) BUNDESREPUBLIK

DEUTSCHLAND



DEUTSCHES

PATENTAMT

(12) **Offenlegungsschrift**

(10) **DE 41 35 977 A 1**

(51) Int. Cl. 5:

H 04 B 1/62

H 04 B 1/66

H 03 M 7/30

// H04H 5/00

(21) Aktenzeichen: P 41 35 977.1

(22) Anmeldetag: 31. 10. 91

(23) Offenlegungstag: 6. 5. 93

DE 41 35 977 A 1

(71) Anmelder:

Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung eV, 8000 München, DE

(74) Vertreter:

Münich, W., Dipl.-Phys. Dr.rer.nat., Pat.-Anw.; Steinmann, O., Dr., Rechtsanw., 8000 München

(72) Erfinder:

Erfinder wird später genannt werden

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

(54) Verfahren zur gleichzeitigen Übertragung von Signalen aus N-Signalquellen

(57) Beschrieben wird ein Verfahren zur gleichzeitigen Übertragung von Signalen aus N-Signalquellen über eine entsprechende Zahl von Übertragungskanälen, bei dem die einzelnen Signale in Blöcke aufgeteilt und die Blöcke durch eine Transformation oder Filterung in Spektralkoeffizienten umgesetzt werden, die einem Datenreduktionsverfahren unterzogen werden.

Die Erfindung zeichnet sich dadurch aus, daß die zu den einzelnen Signalen gehörenden Blöcke in Abschnitte aufgeteilt werden, daß die jeweils aktuellen Abschnitte aller Signale gemeinsam bearbeitet werden, daß unter Verwendung eines wahrnehmungsspezifischen Modells die erlaubte Störung für jeden Abschnitt bestimmt wird und daß eine Anforderung an aktuell erforderlicher Gesamt-Übertragungskapazität berechnet wird, daß aus der insgesamt zur Verfügung stehenden Übertragungskapazität und der aktuell benötigten Gesamt-Übertragungskapazität die Zuteilung an maximal zur Verfügung stehender Übertragungskapazität für jedes Einzelsignal berechnet wird und jedes Einzelsignal mit dieser so bestimmten Kapazität codiert und übertragen wird.

DE 41 35 977 A 1

Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur gleichzeitigen Übertragung von Signalen aus N-Signalquellen über eine entsprechende Zahl von Übertragungskanälen.

5 Verfahren, bei denen die einzelnen (Zeit-) Signale in Blöcke aufgeteilt und die Blöcke durch eine Transformation oder Filterung in Spektralkoeffizienten umgesetzt werden, die wiederum einem Datenreduktionsverfahren unterzogen bzw. zur Datenreduktion entsprechend codiert werden, sind bekannt. Hierzu wird beispielsweise auf die Übersichtsartikel "Perceptual Audio-Coding" von Jörg Houpert in Studio-Technik oder den Artikel "Daten-Diät, Datenreduktion bei digitalisierten Audio-Signalen" von Stefanie Renner in Elrad, 1991 verwiesen. Auf diese Übersichtsartikel sowie die PCT-Offenlegungsschrift WO 88/01 811 wird im übrigen zur Erläuterung aller hier nicht näher beschriebenen Begriffe und Verfahrensschritte ausdrücklich Bezug genommen.

In einer Reihe von Fällen ist es nun erforderlich, Signale aus mehreren Signalquellen gleichzeitig über eine entsprechende Zahl von Übertragungskanälen zu übertragen. Als einfaches Beispiel hierfür sei die Übertragung von Stereo-Signalen über zwei Übertragungskanäle genannt.

15 Bei der Übertragung von Signalen aus N-Signalquellen über eine entsprechende Zahl von Übertragungskanälen stellt sich nun das Problem der Dimensionierung der Übertragungskanäle.

Dimensioniert man jeden einzelnen Übertragungskanal so, daß er den "maximal anfallenden Bit-Strom" übertragen kann, so bleibt "im Mittel" vergleichsweise viel Übertragungskapazität ungenutzt.

20 Nun ist es aus der digitalen Telefontechnik bekannt, bei der Übertragung von Signalen aus einer Vielzahl von Signalquellen über eine entsprechende Zahl von Übertragungskanälen die Übertragungskanäle lediglich für einen "mittleren Bedarf" auszulegen und auf einzelnen Kanälen kurzfristig erhöhten Bedarf durch Zuweisung aus anderen Kanälen auszugleichen. Die Zuweisung erfolgt dabei ausschließlich über die Signalstatistik.

25 Zum Stand der Technik sei auf folgende Literaturstellen "ein digitales Sprachinterpolationsverfahren mit prädiktionsgesteuerter Wortaufteilung" von Dr. H. Gerhäuser (1980), "ein digitales Sprachinterpolationsverfahren mit momentaner Prioritätszuteilung", von R. Woitowitz (1977) oder "ein digitales Sprachinterpolationsverfahren mit blockweiser Prioritätszuteilung" von G.G. Klahnenbacher (1978) verwiesen.

30 Erfundungsgemäß ist nun erkannt worden, daß die in der digitalen Telefontechnik gebräuchlichen Verfahren zum Ausgleich eines schwankenden Bedarfs bei der Übertragung einer Vielzahl von Signalen über eine entsprechende Zahl von Übertragungskanälen dann keine guten Resultate liefern, wenn die zu übertragenden digitalen Signale vorher einer Datenreduktion beispielsweise nach dem sogenannten OCF-Verfahren unterzogen werden sind.

35 Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur gleichzeitigen Übertragung von Signalen aus N-Signalquellen über eine entsprechende Zahl von Übertragungskanälen anzugeben, mit denen "datenreduzierte Signale" über Übertragungskanäle, die lediglich für einen "mittleren Bedarf" dimensioniert sind, ohne wahrnehmbare d. h. beispielsweise hörbare Einbußen an Signalkapazität übertragen werden können.

40 Eine erfundungsgemäße Lösung dieser Aufgabe ist im Patentanspruch 1 angegeben. Weiterbildungen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche.

45 Die Erfindung geht von dem Grundgedanken aus, zum Ausgleich des schwankenden Bedarfs bei der gleichzeitigen Übertragung von Signalen aus N-Signalquellen über eine entsprechende Zahl von Übertragungskanälen die Zuteilung an die einzelnen Signale nicht nach statistischen Gesichtspunkten vorzunehmen, sondern bereits in dem Verfahrensschritt, in dem die Signale zur Datenreduktion codiert werden, den schwankenden Bedarf durch entsprechende Maßnahmen auszugleichen.

50 Dieser erfundungsgemäße Grundgedanke wird nachstehend anhand eines Ausführungsbeispiels unter der Zeichnung näher erläutert, in der zeigen:

45 Fig. 1 ein Blockdiagramm zur Erläuterung des erfundungsgemäßen Verfahrens, und
Fig. 2a und 2b den erfundungsgemäßen Signalaufbau.

Bei dem erfundungsgemäßen Verfahren werden die einzelnen Signale in Blöcke aufgeteilt und die Blöcke durch eine Transformation oder Filterung in Spektralkoeffizienten umgesetzt. Zum Ausgleich des schwankenden Bedarfs werden die zu den einzelnen Signalen gehörenden Blöcke in Abschnitte aufgeteilt, und die jeweils aktuellen Abschnitte aller Signale gemeinsam bearbeitet. Dies ist in Fig. 1 durch entsprechende "Funktionsblöcke" grafisch dargestellt.

55 Unter Verwendung eines wahrnehmungsspezifischen Modells, das beispielsweise bei der Übertragung von Audio-Signalen ein psycho-akustisches Modell sein kann, wird für jeden Abschnitt die erlaubte Störung bestimmt und hieraus die Anforderung an aktuell erforderliche Gesamt-Übertragungskapazität berechnet. Die Berechnung der Gesamt-Übertragungskapazität, d. h. der nötigen Bitzahl, erfolgt für alle Blöcke gleichzeitig. Aus der insgesamt zur Verfügung stehenden Übertragungskapazität und der aktuell benötigten Gesamt-Übertragungskapazität wird die Zuteilung an maximal zur Verfügung stehender Übertragungskapazität für jedes Einzelsignal berechnet. Mit der für jedes Einzelsignal zugeteilten "Bitzahl" erfolgt die Codierung des Einzelsignals und entsprechend die Übertragung dieses Einzelsignals. Dabei erfolgt im einfachsten Falle ein Ausgleich der jeweils benötigten Übertragungskapazität nur zwischen den Kanälen.

60 Bei der im Anspruch 2 angegebenen Weiterbildung ist eine Reserve an Übertragungskapazität, ein sogenanntes Bitreservoir vorhanden, aus dem in dem Falle, daß die benötigte Gesamt-Übertragungskapazität die im Mittel zur Verfügung stehende Übertragungskapazität übersteigt, eine Zuteilung an Übertragungskapazität erfolgt.

65 Dieses Bitreservoir wird immer dann aufgefüllt, wenn die angeforderte Übertragungskapazität kleiner als die zur Verfügung stehende Übertragungskapazität ist (Anspruch 3).

In jedem Falle ist es erforderlich, daß — um ein zu großes Anwachsen des Bitreservoirs zu verhindern — in dem Falle, daß die Übertragungskapazität sehr viel kleiner als die zur Verfügung stehende Übertragungskapazi-

tät ist, eine Zwangs-Zuteilung von Bits an die einzelnen Kanäle erfolgt (Anspruch 4). Diese Zwangs-Zuteilung erfolgt dabei bevorzugt lediglich an die Kanäle bzw. Signalquellen, die einen Bedarf angemeldet haben, der größer als ein mittlerer Bedarf ist. Ein wesentlich größerer Bedarf als der durchschnittliche Bedarf bedeutet nämlich, daß diese Signale wesentlich schwerer zu codieren sind als übliche Signale.

In jedem Falle ist es gemäß Anspruch 9 bevorzugt, wenn aus allen getrennt codierten Signalen der Signalquellen ein Gesamtblock gebildet wird, der auf einem festen Bereich, der Information beinhaltet, aus der die Separierung der Signale ermittelt werden kann, sowie aus mehreren Bereichen flexibler Länge besteht, die die codierten Signale aufnimmt. Dies ist schematisch in Fig. 2a dargestellt.

Eine weitere Einsparung an Übertragungskapazität erhält man dadurch, daß gleiche Eingangssignale erkannt und durch ein geeignetes Übertragungsformat nur einmal übertragen werden (Anspruch 6). Dies ist schematisch in Fig. 2b dargestellt.

In jedem Falle ist es möglich, die aktuell benötigte Übertragungskapazität exakt zu bestimmen oder lediglich abzuschätzen (Ansprüche 7 und 8).

Darüberhinaus ist es möglich, das erfindungsgemäße Verfahren weitgehend parallel auszuführen. Hierzu ist es bevorzugt, wenn gemäß Anspruch 11 die Codierung der Einzelsignale bereits während der Berechnung der Zuteilung der Übertragungskapazität für jedes Signal erfolgt.

Eine weitere bevorzugte Realisierung des erfindungsgemäßen Grundgedankens ist im Anspruch 11 angegeben.

Wenn die benötigte Übertragungskapazität die zur Verfügung stehende Übertragungskapazität übersteigt und keine Zuteilung aus dem Bit-Reservoir erfolgen kann, so ist es möglich, den Wert der erlaubten Störung für sämtliche Signale so anzuheben, daß die benötigte Gesamt-Übertragungskapazität die zur Verfügung stehende Übertragungskapazität nicht übersteigt (Anspruch 11).

Im folgenden soll ein numerisches Beispiel für eine Vorgehensweise für Audio-Signale angegeben werden. Ausdrücklich wird darauf hingewiesen, daß der erfindungsgemäße Grundgedanke nicht auf Audio-Signale beschränkt ist; vielmehr können auch Video-Signale oder andere, einer wahrnehmungsspezifischen Beurteilung unterliegende Signale ähnlich behandelt werden.

Beispiel für eine mögliche Vorgehensweise für Audio-Signale:

Seien $y(t)$ Abtastwerte des Audio-Signals.

1) Das Audio-Signal y wird in an sich bekannter Weise in Abtastwerte ($y(t)$) zerlegt, die digitalisiert werden. Die digitalisierten Abtastwerte werden in Blöcke der Länge $2n$ zerlegt, die bei dem gewählten Ausführungsbeispiel überlappende Blöcke mit der Überlappung n sind:

$$x(k,b) = y(b \cdot n + k) \text{ für } k = 0 \dots 2n \text{ (b Blocknummer).}$$

2) Jeder Block der Länge n wird durch eine Transformation, beispielsweise eine Fast-Fourier-Transformation oder eine Cosinus-Transformation in Spektralkoeffizienten transformiert:

$$x(j,b) = \sum_{i=0}^{2n} x(i,b) \cdot f(i) \cdot \cos(\pi \cdot (2i+1+n)(2j+1)/(4n)) \text{ für } j = 0 \dots n \text{ mit } f(i) = \sqrt{2} \cdot \sin(\pi \cdot (i+0.5)/(2n))$$

3) Jeder der Blöcke wird in Abschnitte zerlegt und die Energiedichte für jeden Abschnitt berechnet:

$$E(i,b) = (\sum_{k=a(i)+1}^{a(i+1)} X(k,b)^2) / (a(i+1) - a(i)) \text{ für } i = 1 \dots c,$$

wobei die Koeffizienten $a(i)$ aus der untenstehenden Tabelle 1 entnommen werden.

4) Für jeden Abschnitt wird mit einem geeigneten psycho-akustischen Modell, bezüglich dem auf die Literatur verwiesen wird, die erlaubte Störung berechnet. Aus der erlaubten Störung ergibt sich die Maskierung zwischen den Bändern

$$T(i,b) = \max_{k=1 \dots i-1} (E(k,b) \cdot z(i-k))$$

die Maskierung im Band:

$$s(i,b) = \max(E(i,b) \cdot e(i), T(i,b))$$

und die Maskierung zwischen den Blöcken:

$$ss(i,b) = \max(s(i,b-1/16), s(i,b))$$

anschließend erfolgt für jeden Block die Berechnung der benötigten Bitzahl.

5) Berechnung der nötigen Bitzahl für den Block:

a) für eine Codierung wie bei OCF (Huffmancodierung):

$$p = p_0 + \sum_{i=1}^c (a(i+1) - a(i)) \cdot (s(i,b)/ss(i,b))$$

b) für PCM Codierung (SNR = 6dB/bit):

Für jeden Abschnitt wird ein Skalenfaktor und die Anzahl der Bit pro Abtastwert als zusätzliche

Information übertragen

$$p = p_0 + \text{SUM}(i = 1 \dots c; (a(i+1)) \cdot 10/6 \cdot \log(E(i,b)/ss(i,b)))$$

5 Im folgenden sollen in Form von Tabellen die sinnvollen Werte für die einzelnen Größen bzw. Konstanten wiedergegeben werden:

10 $n = 512$

$c = 23$

$p_0 = 1200$ für OCF (mittlere Bitzahl pro Block)

10 $p_0 = 345$ für PCM (Skalenfaktoren: 10 Bit/Abschnitt), Codierung der Anzahl der Quantisierungsstufen: 5 Bit/Abschnitt

Tabelle 1

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
a(i)	0	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	46	52	60	70	82

i	17	18	19	20	21	22	23	24
a(i)	96	114	136	164	198	240	296	372

Tabelle 2

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	a(i)
e(i)	1e-1	1e 2	1e 3	1e 4	1e 5	1e 6	1e 7	1e-8	1e-9	0 für $i > 9$

Tabelle 3

i	1	2	3	4	5	6	7
e(i)	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004

i	8	9	10	11	12	13	14	15
e(i)	0.002	0.002	0.002	0.004	0.01	0.015	0.025	0.04

i	16	17	18	19	20	21	22	23
e(i)	0.06	0.06	0.06	0.08	0.08	0.11	0.14	0.18

50 Im Anschluß hieran erfolgt die Zuteilung der Bit-Zahlen an die einzelnen Signale. Hierzu wird angenommen, daß zur Codierung der K-Eingangssignale $k(k)$ -Bits angefordert werden, während die zur Verfügung stehende Bitzahl $p_{\text{ soll}}$ sei.

55 $p_{\text{sum}} = \text{SUM}((p))k$

Nun ist eine Fallunterscheidung nötig:

1) wenn $p_{\text{sum}} = p_{\text{ soll}}$

60 Jedes Signal bekommt die angeforderte Bitzahl:

$z(k) = P(k)$

2) Wenn $p_{\text{sum}} < p_{\text{ soll}}$

65 Jedes Signal bekommt mehr als die angeforderte Bitzahl:

$z(k) = (p_{\text{ soll}}/p_{\text{sum}}) \cdot p(k)$

z. B. $K = 2, p_{\text{ soll}} = 1600, p(1) = 540, p(2) = 660$

psum = 1200

z(1) = 1600/1200 · 540 = 720 (180 bit mehr)

z(2) = 1600/2000 · 660 = 880 (220 bit mehr)

3) Wenn psoll > psum:

Jedes Signal bekommt weniger als die angeforderte Bitzahl:

a) für OCF:

z(k) = (psoll/psum) · p(k)

b) für PCM:

Die Mindestbitzahl für jedes Signal darf dabei nicht unterschritten werden:

$$z(k) = p_0 + ((psoll - K \cdot p_0)) \cdot (p(k) - p_0)$$

z. B. K = 2, psoll = 1600, p0 = 500, p(1) = 600, p(2) = 1200

dann ist psum = 1800

$$z(1) = 500 + (1600 - 2 \cdot 500) / (1800 - 2 \cdot 500) \cdot (600 - 500) = 575 \text{ (25 bit weniger)}$$

$$z(2) = 500 + (1600 - 2 \cdot 500) / (1800 - 2 \cdot 500) \cdot (1200 - 500) = 1025 \text{ (175 bit weniger)}$$

Zur Korrektur der erlaubten Störung ist folgende Fallunterscheidung erforderlich, wenn für jedes Signal p-Bits angefordert, jedoch z-Bits zugeteilt werden:

1) Wenn zugeteilte Bitzahl gleich der angeforderten:

keine Korrektur nötig.

2) Wenn mehr Bits zugeteilt wurden als angefordert:

Für OCF:

keine Korrektur nötig.

Für PCM:

Die Anzahl der für die Quantisierung in jedem Abschnitt zur Verfügung stehenden Bit wird um $(z - p) / 512$ vermehrt.

3) Wenn weniger Bits zugeteilt wurden als angefordert:

Für OCF:

$$ss(i,b) = s(i,b) + (z - p_0) / (p - p_0) \cdot (ss(i,b) - s(i,b)) \text{ für } p > p_0$$

$$ss(i,b) = s(i,b) \text{ für } p <= p_0$$

Für PCM:

Die Anzahl der für die Quantisierung in jedem Abschnitt zur Verfügung stehenden Bit wird um $(z - p) / 512$ vermehrt.

Bei PCM ist eine Rundung Bit pro ATW auf eine ganze Zahl notwendig: Hierzu werden zunächst alle Bit/ATW auf die nächstniedrige ganze Zahl abgerundet und die daraus resultierende Bitsumme bestimmt.

Falls noch Bits verfügbar sind, werden in einem ersten Durchgang die von den untersten Bändern beginnend jedem Band ein Bit/ATW mehr zur Verfügung gestellt, bis die zur Verfügung stehende Bitzahl erreicht wird.

Beispiel

Zur Verfügung stehen 104 Bit

Abschnitt	1	2	3	4
Breite:	4	6	8	12
Bit/ATW:	4,2	5,2	3,4	2,4
abgerundet:	4	5	3	2
*Breite	16	30	24	24
noch zu verteilen:				
10 Bit	+ 1	+ 1		
Ergebnis:	5	6	3	2

Vorstehend ist die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen beschrieben worden. Innerhalb des allgemeinen Erfindungsgedankens sind selbstverständlich die verschiedensten Variationen möglich.

So ist es möglich, eine feste Gesamt-Blocklänge zu verwenden, wobei Füll-Bits eingesetzt werden oder eine Weitergabe an noch nicht beendete Coder erfolgt. Ferner ist es möglich, eine flexible Blocklänge zu verwenden, bei der eine maximale Blocklänge vorgegeben ist und zusätzlich eine Zeitmittelung erfolgt.

Patentansprüche

5 1. Verfahren zur gleichzeitigen Übertragung von Signalen aus N-Signalquellen über eine entsprechende Zahl von Übertragungskanälen, bei dem die einzelnen Signale in Blöcke aufgeteilt und die Blöcke durch eine Transformation oder Filterung in Spektralkoeffizienten umgesetzt werden, die einem Datenreduktionsverfahren unterzogen werden, gekennzeichnet durch folgende Merkmale:

- die zu den einzelnen Signalen gehörenden Blöcke werden in Abschnitte aufgeteilt,
- die jeweils aktuellen Abschnitte aller Signale werden gemeinsam bearbeitet,
- unter Verwendung eines wahrnehmungsspezifischen Modells wird die erlaubte Störung für jeden Abschnitt bestimmt und eine Anforderung an aktuell erforderlicher Gesamt-Übertragungskapazität berechnet,
- aus der insgesamt zur Verfügung stehenden Übertragungskapazität und der aktuell benötigten Gesamt-Übertragungskapazität wird die Zuteilung an maximal zur Verfügung stehender Übertragungskapazität für jedes Einzelsignal berechnet und jedes Einzelsignal mit dieser so bestimmten Kapazität codiert und übertragen.

10 2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß eine Reserve an Übertragungskapazität (Bit-Reservoir) vorhanden ist, aus der in dem Falle, daß die benötigte Gesamt-Übertragungskapazität die im Mittel zur Verfügung stehende Übertragungskapazität übersteigt, eine Zuteilung erfolgt.

15 3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Bit-Reservoir aufgefüllt wird, wenn die angeforderte Übertragungskapazität kleiner als die zur Verfügung stehende Übertragungskapazität ist.

20 4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß — um ein zu großes Anwachsen des Bit-Reservoirs zu verhindern — in dem Falle, daß die angeforderte Übertragungskapazität sehr viel kleiner als die zur Verfügung stehende Übertragungskapazität ist, eine Zwangs-Zuteilung von Bits erfolgt.

25 5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Zwangs-Zuteilung lediglich bei einem Bedarf erfolgt, der größer als ein mittlerer Bedarf ist.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß gleiche Eingangssignale erkannt und durch ein geeignetes Übertragungsformat nur einmal übertragen werden.

30 7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Bestimmung der aktuell benötigten Übertragungskapazität exakt erfolgt.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Bestimmung der aktuell benötigten Übertragungskapazität nur abgeschätzt wird.

35 9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß aus allen getrennt codierten Signalen der Signalquellen ein Gesamtblock gebildet wird, der aus einem festen Bereich, der eine Information beinhaltet, aus der die Separierung der einzelnen Signale ermittelt werden kann, sowie aus mehreren Bereichen flexibler Länge besteht.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Codierung der Einzelsignale bereits während der Berechnung der Zuteilung der Übertragungskapazität für jedes Signal erfolgt.

40 11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß in dem Falle, daß die angeforderte Bitzahl die insgesamt zur Verfügung stehende Bitzahl übersteigt, die erlaubte Störung für alle Signalquellen vergrößert wird, so daß sich eine verringerte Bit-Anforderung ergibt.

45 Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

50

55

60

65

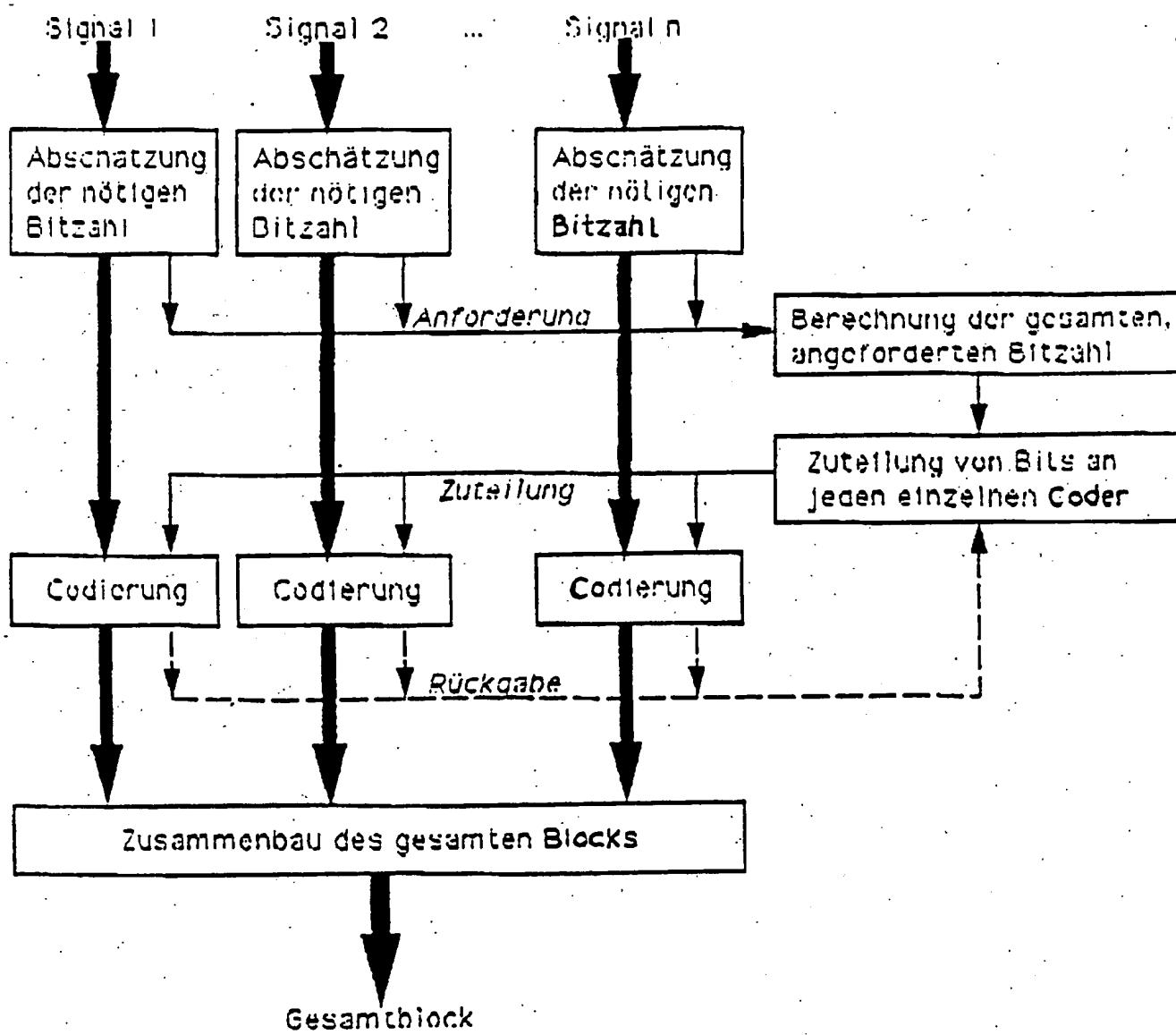
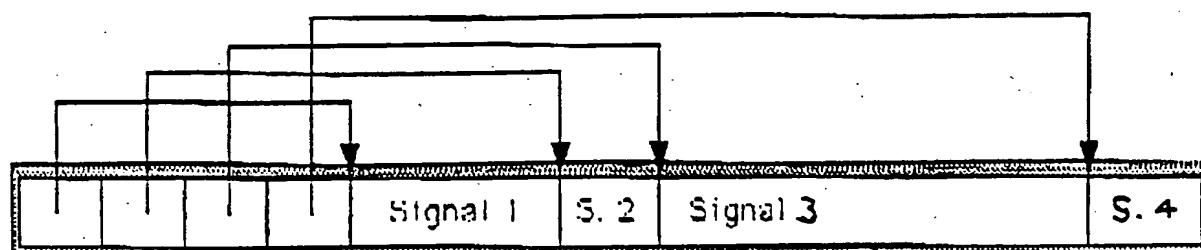
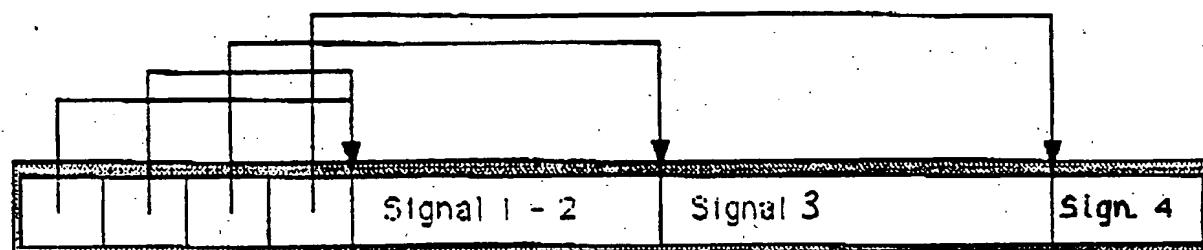


FIG. 1

Aufbau eines Gesamtblocks (Beispiel: 4 Signale)FIG. 2aAufbau eines Gesamtblocks (Beispiel: 4 Signale)

Signal 1 und Signal 2 sind identisch:

FIG. 2b